

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 07 758 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 01 L 33/00

②① Aktenzeichen: 198 07 758.0
②② Anmeldetag: 24. 2. 98
④③ Offenlegungstag: 10. 12. 98

DE 198 07 758 A 1

③⑩ Unionspriorität:
868009 03. 06. 97 US
⑦① Anmelder:
Hewlett-Packard Co., Palo Alto, Calif., US
⑦④ Vertreter:
Schoppe & Zimmermann, 81479 München

⑦② Erfinder:
Krames, Michael R., Mt. View, Calif., US; Kish jun.,
Fred A., San Jose, US; Tan, Tun S., Cupertino, US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Lichtemittierendes Element mit verbesserter Lichtextraktion durch Chipformen und Verfahren zum Herstellen desselben

⑤⑦ Die Erfindung besteht in einem Verfahren zum Entwickeln von lichtemittierenden Halbleiterelementen, derart, daß die Seitenoberflächen (die Oberflächen, die nicht parallel zu den epitaxialen Schichten sind) in bevorzugten Winkeln bezüglich einer Vertikalen (senkrecht zu der Ebene der lichtemittierenden aktiven Schicht) gebildet sind, um den Lichtextraktionswirkungsgrad zu verbessern, und um den Gesamtlichtausgabewirkungsgrad zu erhöhen. Elemententwürfe werden ausgewählt, um den Wirkungsgrad zu verbessern, ohne daß aufgrund des Formens ein übermäßiger Verlust an aktivem Flächenertrag in Kauf genommen werden muß. Somit sind diese Entwürfe für eine preisgünstige hochvolumige Herstellung von lichtemittierenden Halbleiterelementen mit verbesserten Charakteristika geeignet.

DE 198 07 758 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf den Prozeß des Entwerfens und Herstellens von lichtemittierenden Halbleiterelementen. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf das Verbessern des Lichtextraktionswirkungsgrads und auf das Erhöhen der Gesamtlichtausgabe dieser Elemente.

Der Extraktionswirkungsgrad von lichtemittierenden Halbleiterelementen (LEDs) ist durch den großen Kontrast zwischen den optischen Brechungsindizes von Halbleitermaterialien ($n_s \sim 2,2$ bis $3,6$) und denen der umgebenden Medien, typischerweise Luft ($n_a \sim 1,0$) oder optisch transparentem Epoxidharz ($n_e \sim 1,5$) begrenzt. Diese große Brechungsindexdifferenz bewirkt, daß Photonen innerhalb des Elements mit hoher Wahrscheinlichkeit vollständig intern reflektiert werden, wenn sie auf Grenzflächen zwischen dem Halbleiter und dem Umgebungsmedium fallen.

Um dies zu veranschaulichen, sei ein Würfel aus GaP (optisch transparent für Wellenlängen > 555 nm), der von Epoxidharz umgeben ist, betrachtet. Ein Photon $\lambda > 555$ nm innerhalb des GaP ($n_s \sim 3,3$), der auf eine der sechs Grenzflächen mit dem Epoxidharz ($n_e \sim 1,5$) auftrifft, muß in einem Winkel kleiner als $\Theta_c = \sim 27^\circ$ (bezüglich der Normalen) auftreffen, um nicht vollständig intern reflektiert zu werden, wobei dieser Prozeß als TIR bezeichnet wird (TIR = Total Internal Reflection). Dieser begrenzte Winkelbereich, in dem eine Transmission möglich ist, definiert einen "Austrittskegel" für das Photon. Wenn das Photon mit einer gleichen Emissionswahrscheinlichkeit aus dem GaP in einer beliebigen Richtung innerhalb von 4π Steradianen emittiert wird, beträgt die Wahrscheinlichkeit des Auftreffens auf eine der Grenzflächen innerhalb eines Austrittskegels 33%. Unter Berücksichtigung der Fresnel-Reflexion beträgt die Wahrscheinlichkeit für das Photon, damit es tatsächlich in das Epoxidharz transmittiert wird, 28,4%.

Kommerzielle LEDs sind nicht-ideale Elemente, die viele optische Verlustmechanismen enthalten, z. B. eine Reabsorption der aktiven Schicht, eine Absorption innerhalb interner epitaxialer Schichten, eine begrenzte Reflektivität des ohmschen Kontakts, eine Absorption von freien Ladungsträgern innerhalb dotierter Regionen. Insbesondere können bei Elementen mit Emissionsschichten mit niedrigem internen Quantenwirkungsgrad die Verlustmechanismen aufgrund der aktiven Schicht das extrahierte Licht auf nur die Photonen begrenzen, die aus dem Element austreten, ohne daß sie einen zweiten Durchlauf durch die aktive Schicht nach der Emission vollführen. Dies bedeutet eine Grenze für den erreichbaren Extraktionswirkungsgrad solcher Elemente auf nicht mehr als 28,4% (basierend auf der obigen Berechnung). Anschaulich dargestellt beträgt der Absorptionskoeffizient für einen Band-zu-Band-Prozeß bei der Emissionswellenlänge etwa 10^4 cm^{-1} . Ein Photon, das einen einzigen Durchlauf durch eine Emissionsschicht mit einer typischen Dicke von $1 \mu\text{m}$ vollführt, wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 63% absorbiert. Für ein Material mit niedrigem Quantenwirkungsgrad ist die Wahrscheinlichkeit einer Reemission als Photon relativ niedrig, beispielsweise $\sim 10\%$. Somit beträgt die Wahrscheinlichkeit erster Ordnung, daß das anfängliche Photon absorbiert wird und in einen nicht-strahlenden Prozeß umgewandelt wird 57%. Das Problem wird durch andere Verlustmechanismen und durch die Tatsache verschärft, daß eine Mehrheit von Photonentrajektorien mehr als nur die vertikale Dicke der aktiven Schicht durchlaufen. Somit ist ein großer Teil des Lichts, das aus dem Element austritt, Licht, das durch die Halbleiter/Umgebungs-Grenzflächen unmittelbar beim ersten Auftreffen auf eine solche Grenzfläche transmittiert wird. Die-

ses Licht ist ein Licht des "ersten Durchlaufs". Fig. 1 zeigt ein schematisches Diagramm, das Licht des ersten Durchlaufs und bestimmte der vorher erwähnten Photonenverlustmechanismen und Austrittswege darstellt. "Mehrfach-Durchlauf"-Licht ist das Licht, das erst dann aus dem Chip austritt, nachdem es mehrmals die Oberflächen des LED-Chips getroffen hat.

Bestimmte Verluste können reduziert werden, indem die Dicke der lichtemittierenden aktiven Region und irgendwelcher anderer absorbierender Schichten verringert wird. Fundamentale Begrenzungen im Materialwachstum und der Bauelementphysik (z. B. Trägerbegrenzung, Zwischenflächenrekombination) begrenzen die minimale Dicke der aktiven Schicht, bei der vernünftige Strahlungswirkungsgrade erreicht werden können. Die Auswahl der Dicke der aktiven Schicht (für ein Material mit niedrigem Strahlungswirkungsgrad) ist ein Kompromiß zwischen dem internen Strahlungswirkungsgrad und dem Extraktionswirkungsgrad. Elemente mit den höchsten erreichbaren Extraktionswirkungsgraden entstehen aus Halbleiter-LED-Strukturentwürfen, die dafür sorgen, daß ein großer Teil des intern emittierten Lichts ein Licht des ersten Durchlaufs ist. In der Tat stehen selbst in Strukturen mit relativ hohem internen Quantenwirkungsgrad Verluste aufgrund ohmscher Kontakte und aufgrund einer Absorption freier Ladungsträger immer noch Entwürfen entgegen, die eine höhere Extraktion von Licht vom ersten Durchlauf bieten. Ein Lösungsansatz, um die Lichtextraktion zu verbessern, besteht darin, die Form oder Geometrie des Chips zu modifizieren.

Eine solche Form ist ein Element in der Form eines invertierten abgeschnittenen Kegels, wobei der p-n-Übergang an oder nahe an (innerhalb mehrerer μm) der Abschnideebene positioniert ist, wie es von Franklin u. a. in Journal of Applied Physics, Bd. 35, 1153 (1964), offenbart ist. Das Element zeigt verbesserte Lichtemissionscharakteristika in der Vorwärtsrichtung und einen verbesserten externen Wirkungsgrad. Die geformten Seitenwände des kegelförmigen Abschnitts lenken Licht, das auf diese Oberfläche einfällt, zu der oberen Oberfläche bei nahezu normalem Einfallswinkel um. In Infrared Physics 6,1 (1966) hat Carr bestimmt, daß es eine minimale obere Fensterhöhe gibt, über der der Wirkungsgrad nicht länger zunimmt. Derselbe hat ferner einen optimalen Winkel $\beta_m = (\pi/2 - \Theta_c)^2$ vorgeschlagen, wobei Θ_c der kritische Winkel für die totale interne Reflexion ist, wobei der optimale Winkel einen maximalen Wirkungsgrad liefern soll. Diese Analyse vernachlässigt die interne Absorption und Sekundärreflexionen. Das gemessene Licht wird nur von der oberen Oberfläche des Elements emittiert. Für Anwendungen mit hohem Fluß sind diese Elemente (Franklin u. a. und Carr) darin suboptimal, daß sie kein Seitenlicht verwenden, das 40% oder mehr des gesamten extrahierten Lichts einer LED ausmachen kann. Ebenfalls verwendet ein solches Element keinen Heteroübergang und würde einen reduzierten Injektionswirkungsgrad bei Zimmertemperatur erleiden, wenn derselbe mit den veröffentlichten Daten bei $T = 77 \text{ K}$ verglichen wird. Ferner ist das obere Extraktionsfenster für dieses Element mit Homoübergang nicht transparent für einen wesentlichen Teil der Photonen, die innerhalb der p-n-Übergang-Aktivregion erzeugt werden. Da der interne Quantenwirkungsgrad von GaAs-LEDs typischerweise nahe bei 100% liegt (besonders bei $T = 77 \text{ K}$), zeigt der relativ niedrige gemessene Wert des externen Quantenwirkungsgrads ($< 10\%$ in Luft), daß das Weglassen der Seitenlichtsammlung und die schlechte Transparenz zu einem wesentlich reduzierten Extraktionswirkungsgrad bei diesem Elemententwurf beitragen.

In "Sov. Phys. Tech. Phys. 23, 476 (1978)" offenbarten Alferov u. a. eine andere geformte LED mit einer Doppel-

mesastruktur, die den Extraktionswirkungsgrad verbessert, indem Abprallwege geschaffen werden, die die aktive Region und die hintere Oberfläche des Elements vermeiden, und zwar für ein Mehrfach-Durchlauf-Licht. Ein Mesaätzen der Seitenwandoberflächen erlaubt keine Steuerung bezüglich des Winkels der Seitenwände, welcher ein wichtiger Parameter für die Lichtextraktion und die Chipkosten ist. Ebenfalls zeigt das Doppelmeselement ein Flächen-Verhältnis von der oberen Oberfläche zu der aktiven Fläche in der Größenordnung von 9 oder mehr. Dieses Flächen-Verhältnis ist die Anzahl von Elementen, die pro Einheitsfläche auf einem Wafer erhalten werden können. Da die Reduktion des Flächenertrags ($\sim 9 \times$) wesentlich größer als der betrachtete Gewinn im Extraktionswirkungsgrad ($< 3 \times$ im Vergleich zu herkömmlichen Geometrien) ist, ist dieser Elementlösungsansatz für eine kosteneffektive hochvolumige Herstellung nicht geeignet.

In dem U.S.-Patent Nr. 5,087,949, das am 11. Februar 1992 erteilt wurde, offenbart Haitz eine LED mit diagonalen Seiten für eine verbesserte Lichtextraktion. Die aktive Schicht in den LEDs ist nahezu neben der Basis mit größerer Fläche (von dem imaginären Scheitelpunkt der Pyramidenform weg) positioniert. Folglich profitieren lichtemittierende Regionen in der Nähe des Umfangs der aktiven Schicht nicht so von den angewinkelten Seiten wie es in den mittleren Regionen der aktiven Schicht ist. Daher sind die Gewinne im effektiven Extraktionswirkungsgrad bei einem solchen Element begrenzt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein lichtemittierendes Halbleiterelement und ein Verfahren zum Herstellen eines lichtemittierenden Halbleiterelements zu schaffen, um auf wirtschaftliche Art und Weise lichtemittierende Elemente mit verbessertem Extraktionswirkungsgrad zu erhalten.

Diese Aufgabe wird durch ein lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 1 oder 14 und durch ein Verfahren zum Herstellen eines lichtemittierenden Halbleiterelements gemäß Anspruch 19 gelöst.

Durch Formen eines lichtemittierenden Halbleiterelements (LED), derart, daß die Seitenoberfläche (die Seitenoberflächen) in einem Winkel (in Winkeln) ausgerichtet ist (sind), die bezüglich der Richtung senkrecht zu der Ebene der lichtemittierenden Schicht versetzt sind, wird die gesamte Lichtextraktion erhöht. Durch Verwenden eines p-n-Heteroübergangs für einen hohen Injektionswirkungsgrad und durch Verwenden von transparenten Fenstern für eine optische Extraktion mit niedrigem Verlust, sowohl an der oberen als auch an den Seitenoberflächen, werden hohe externe Gesamtquantenwirkungsgrade erreicht. Schließlich sind die Elemententwürfe und Herstellungstechniken für eine hochvolumige Herstellung geeignet. Verfahren zum Schaffen von transparenten Fenstern mittels Wafer-Bonden und epitaxialem Neuwachstum erlauben ein genaues Positionieren des p-n-Übergangs und ermöglichen eine Steuerung sowohl über die Elementcharakteristika als auch über den Ertrag. Der bevorzugte Elemententwurf verbessert den gesamten Extraktionswirkungsgrad, während ein vernünftiger Grad an erhaltenen Elementen pro Einheitsfläche auf einem Wafer beibehalten wird.

Die Elementform liefert einen optischen Weg von der aktiven Schicht zu dem Umgebungsmedium, wodurch Begegnungen mit den optischen Verlustmechanismen, die innerhalb des Elements vorhanden sind, minimiert werden. Diese Funktion wird durch geformte Seitenwände erreicht, die Licht zu der oberen Oberfläche des Elements innerhalb des kritischen Winkels der Transmission in die Umgebung hin reflektieren, und wodurch ferner ermöglicht wird, daß TIR-Licht von der oberen Oberfläche aus den geformten Seiten-

wänden entweichen kann. Somit wird die Extraktion von Licht des ersten Durchlaufs erhöht. Während Licht zur Transmission in die Umgebung ausgerichtet wird, schaffen die geformten Seitenwände ferner auf inhärente Art und Weise ein relativ größeres Volumen aus Material mit niedrigem Verlust, durch das Photonen eine Anzahl von Malen laufen können, ohne daß sie der absorbierenden aktiven Schicht oder einem absorbierenden ohmschen Kontakt begegnen, d. h. der Raumwinkelquerschnitt der aktiven Schicht und des ohmschen Kontakts sind bezüglich des Falls eines herkömmlichen Chips reduziert. Ferner erfordert das geformte Element keine übermäßigen mehrfachen Durchläufe oder nicht vertretbar lange mittlere Fluglängen für Photonen innerhalb des Elements vor der Transmission, weshalb ein solches Element nicht so außerordentlich unter der Absorption von freien Ladungsträgern leidet.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Diagramm, das Lichtwege in einem herkömmlichen lichtemittierenden Element darstellt;

Fig. 2 eine Seitenansicht eines bevorzugten Ausführungsbeispiels;

Fig. 3 experimentelle Lichtextraktionsgewinne eines bevorzugten Ausführungsbeispiels;

Fig. 4 weitere experimentelle Lichtextraktionsgewinne eines bevorzugten Ausführungsbeispiels;

Fig. 5 eine Draufsicht auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel;

Fig. 6 eine Draufsicht auf ein alternatives Ausführungsbeispiel;

Fig. 7 ein Verfahren zum Erhöhen des Flächenertrags bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel;

Fig. 8 Beziehungen zwischen dem Flußgewinn und den Chipkosten in mehreren bevorzugten Ausführungsbeispielen;

Fig. 9 Vorteile bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel gegenüber dem Stand der Technik;

Fig. 10 eine Seitenansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels; und

Fig. 11 ein alternatives Ausführungsbeispiel, das einen elektrischen Kontakt für sowohl p als auch n hat, wobei die Kontakte dieselbe Oberflächenausrichtung aufweisen.

Eine Seitenansicht eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines lichtemittierenden Halbleiterelements LED ist in Fig. 2 gezeigt. Die LED umfaßt eine Heterostruktur, die eine Mehrzahl von dotierten Epitaxialschichten 10 vom p- und vom n-Typ aufweist, die auf einem Substrat, wie z. B. GaAs, GaP oder Saphir, aufgewachsen sind. Die p- und die n-Schicht sind angeordnet, um eine p-n-Übergangsregion in oder nahe bei einer aktiven Region 11 zu schaffen. Der resultierende Heteroübergang schafft einen hohen Injektionswirkungsgrad bei Zimmertemperatur und ist für Elemente in Hochleistungsanwendungen wesentlich. Die Flächenausdehnung der p-n-Übergangsregion definiert die aktive Elementfläche. Für Hoch-Fluß-Anwendungen ist die aktive Elementfläche vorzugsweise größer als $0,0968 \text{ mm}^2$ (150 mil^2).

Das Wachstumssubstrat kann optional entfernt werden und mittels Wafer-Bonden ersetzt werden (siehe beispielsweise U.S.-Patent Nr. 5,376,580, am 27. Dezember 1994 an Kish erteilt) oder neuaufgewachsen werden, um ein neues Substrat mit vorteilhaften Charakteristika zu schaffen. Dies ist wünschenswert, wenn das Wachstumssubstrat die Lichtwellenlänge absorbiert, die aus der aktiven Region emittiert wird. Bei der vorliegenden Erfindung kann Wafer-Bonden verwendet werden, um das Befestigen einer transparenten Fensterschicht mit beliebiger Dicke zu ermöglichen. Eine

Schicht ist transparent, wenn ihr optischer Absorptionskoeffizient geringer als 20 cm^{-1} bei der Wellenlänge ist, die dem Substratenergiebandabstand des Materials im aktiven Bereich entspricht.

Ein transparentes Substrat oder eine Schicht 12, ein Fenster zur Lichtextraktion (und Stromspreizung) ist die obere Fensterschicht für das Element. Auf ähnliche Art und Weise kann eine Fensterschicht 13 zur Lichtextraktion (und Stromspreizung) an den epitaxialen Schichten auf der Seite gegenüber der oberen Fensterschicht mittels Wafer-Bonden, epitaxialem Wachstum oder Neuwachstum angebracht werden, um die untere Fensterschicht zu werden. Diese Flexibilität ermöglicht es, daß die aktive Schicht beliebig innerhalb des Elements positioniert werden kann, wodurch die Möglichkeit erleichtert wird, einen Kompromiß zwischen dem Anstieg der Lichtausgabe und dem Ertrag an aktiver Fläche pro Einheitsfläche eines Wafers zu schaffen.

Obere und untere elektrische ohmsche Kontakte 14, 15, die an den Fensterschichten angebracht sind, erlauben die Injektion von Elektronen und Löchern in die p-n-Übergangsregion zur Rekombination und entsprechenden Erzeugung von Licht aus der aktiven Region. Für Hochleistungsanwendungen sollte der Widerstand jedes Kontakts geringer als 2 Ohm sein. Vorzugsweise ist der spezifische Kontaktwiderstand jedes Kontakts geringer als $5 \times 10^{-5} \text{ Ohm-cm}^2$, um Kontakte mit niedrigem Widerstand und kleineren Flächen zu schaffen. Dies ermöglicht es, die Verdeckung und Absorption, die durch die Kontakte bewirkt wird, zu minimieren. Der p- und der n-Typ-Ohmkontakt können in einer einzigen Oberflächenausrichtung des Elements hergestellt werden, um die Drahtbondverbindungen zu minimieren, und um die Lichtverdeckung, die durch einen oberen Kontakt bewirkt wird, zu reduzieren.

Die obere Fensterschicht braucht nicht leitend sein und kann aus einem undotierten Halbleitermaterial, das kristallin oder polykristallin sein kann, oder aus einem amorphen Material mit geeigneten Eigenschaften oder auch aus einer Mischung, die aus mehreren Schichten mit unterschiedlichen Charakteristika besteht, bestehen. Das Material und die lichtemittierende Schicht haben vorzugsweise ähnliche Brechungsindizes. Zusätzlich kann einer oder beide Kontakte an einer oder allen Seitenoberflächen des Elements hergestellt werden.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Seitenwände 16 des Primärfensters in einem Winkel (oder Winkeln) β bezüglich der vertikalen Richtung ausgerichtet, derart, daß das Flächenmaß der oberen Oberfläche 17 größer als das der aktiven Elementfläche ist. Die Seitenwand bildet einen stumpfen Winkel bezüglich der Heterostruktur. β muß nicht als Funktion der Elementhöhe (wie in Fig. 2 gezeigt) konstant sein, sondern kann durchgehend gemäß der Elementhöhe variieren, um in entweder teilweise oder vollständig konkaven oder konvexen Seitenwandformen zu resultieren. Die Seitenwandausrichtung bewirkt, daß Licht, das auf die Seitenwände auftritt, in einen Austrittskegel an der oberen Oberfläche des Elements vollständig intern reflektiert wird, wie es durch einen Strahl 18 in Fig. 2 gezeigt ist. Der größte Teil des Lichts, der an der oberen Oberfläche vollständig intern reflektiert wird, wird in einen Austrittskegel an den Seitenwänden umgeleitet, was durch einen Strahl 19 veranschaulicht ist. Das Seitenlicht macht etwa 40% oder mehr des gesamten extern emittierten Lichts aus. Dies resultiert in einer Zunahme der Extraktion von Licht vom ersten Durchlauf.

Die relative Zunahme der Oberflächenfläche der Halbleiter/Umgebung-Grenzflächen bezüglich zu der des oberen Kontakts oder der aktiven Region reduziert die Wahrscheinlichkeit, daß ein Photon an diesen Regionen absorbiert wird.

Dieser letztere Effekt ist immer merkbarer, wenn der Winkel β und die Höhe h_T der transparenten oberen Fensterschicht erhöht werden. Obwohl die Gesamtlichtextraktion theoretisch mit zunehmendem β und zunehmendem h_T zunimmt, entstehen praktische Begrenzungen bei der Auswahl von Werten dieser Parameter.

Um dies darzustellen, sind die bevorzugten Größenordnungen bei einer Fläche der aktiven Region von $508 \mu\text{m} \times 508 \mu\text{m}$ (20 Millizoll \times 20 Millizoll) für den Seitenwandwinkel β 20° bis 50° und für die Höhe des oberen Fensters $h_T = 50,8 \mu\text{m}$ bis $381 \mu\text{m}$ (2 bis 15 Millizoll). Die oberen Grenzen für β und h_T werden ausgewählt, um einen vernünftigen Flächenertrag pro Wafer beizubehalten. Innerhalb dieser Geometrie ist es möglich, die Lichtextraktion von nach oben emittiertem Licht von der aktiven Schicht um einen Faktor von etwa 1,8 bezüglich eines herkömmlichen Elements zu verbessern. Wenn das nach unten emittierte Licht berücksichtigt wird, welches zu Anfang nicht denselben Effekt erfährt, liegt der Gesamteffekt der Lichtextraktion in der Größenordnung von 1,4. Für eine begrenzte Absorption in der aktiven Schicht und einem reflektierenden Rückkontakt wird ferner ein Gewinn des Extraktionswirkungsgrads des oberen Fensters durch das nach unten emittierte Licht beobachtet, derart, daß die Gewinne im Vergleich zu herkömmlichen Elementen einen Faktor von 1,5 oder mehr erreichen können. Selbst dann, wenn die Absorption, die der lichtemittierenden Schicht zugeordnet ist, größer als 50% pro Durchlauf ist, kann nicht erwartet werden, daß nach unten emittiertes Licht wirksam zu dem oberen Fenster hin umgelenkt wird. Es ist daher vorteilhaft, ein unteres Fenster 13 zur Lichtextraktion vorzusehen, wie es in Fig. 2 gezeigt ist. Die Fensterschicht sollte dick genug sein, um es zu ermöglichen, daß eine nennbare Menge an Licht vom ersten Durchlauf aus den Seiten des Elements entweicht, während eine ausreichend große untere Oberfläche für die Befestigungsqualität und die Wärmesenkenwirkung machbar ist. Diese Schicht kann dickenmäßig in einem Bereich von $50,8 \mu\text{m}$ bis zu $254 \mu\text{m}$ (2 bis 10 Millizoll) liegen, und dieselbe beträgt vorzugsweise 10 bis 40% der seitlichen Breite der aktiven Region bezüglich ihrer Dicke. Die Entwurfsauswahl liefert ein wesentliches Auskoppeln von Licht durch die Seiten der unteren Schicht, während ein Aspektverhältnis beibehalten wird, das für mechanische Stabilität sorgt. Ein Praktiker in der Technik wird erkennen, daß alle Abmessungen mit der Fläche der aktiven Region skaliert sind. Dieses Konzept ist auf andere Geometrien ausdehnbar.

Experimentelle Beobachtungen der erhöhten Lichtausgabe aus geformten Elementen sind in Fig. 3 gezeigt. Diese Elemente haben einen quadratischen aktiven Bereich (in Fig. 5 gezeigt) und vier Seitenoberflächen, die in einem Winkel von 35° bezüglich der Normalen (in Fig. 2 gezeigt) gewinkelt sind. Die Dicke des oberen Fensters (über der aktiven Region) beträgt etwa $200 \mu\text{m}$, während die Dicke des unteren Fensters (unter der aktiven Region) etwa $50 \mu\text{m}$ beträgt. Lichtausgabegewinne von $1,4 \times$ – $1,8 \times$ werden für diese geformten Elemente bezüglich herkömmlicher Elemente (mit einer rechteckigen quaderförmigen Geometrie) von demselben Wafer beobachtet. Alle Elemente wurden in Epoxidharz ($n \sim 1,5$) gekapselt. Aus Fig. 3 ist zu sehen, daß Gewinne in der relativen Lichtausgabe für einen breiten Bereich von Wellenlängen beobachtet werden, während die absoluten Wirkungsgrade einfach von der Auswahl des Startmaterials abhängen.

Für Elemente, bei denen die aktive Schicht sehr nahe (innerhalb von 20% der Breite der aktiven Fläche in der Dicke) an der Unterseite des Elements ist, ist es wünschenswert, einen stark reflektierenden Rückkontakt bereitzustellen, um die höchsten Extraktionswirkungsgradgewinne zu errei-

chen. Experimentelle Daten bezüglich der Lichtausgabe von invertierten, abgeschnittenen Pyramidenelementen sind in Fig. 4 gezeigt. Wenn ein legiertes AuZn in Vollsicht als Rückkontakt verwendet wird, leidet die Lichtausgabe aufgrund der schlechten Reflektivität, die durch einen solchen Kontakt geschaffen ist. Wenn statt dessen ein strukturierter AuZn-Rückkontakt (eine Flächenbedeckung von etwa 20%) in Verbindung mit reflektierendem Ag-basiertem Chipbefestigungsepoxydharz (gesamte Winkeldurchschnittsreflektivität > etwa 50%) verwendet wird, wird die Gesamtlichtausgabe um etwa 20% erhöht.

Die Seitenansicht in Fig. 2 steht mit einer Vielzahl von Elementgeometrien in Einklang. Eine Draufsicht ist in Fig. 5 für eine quadratische oder rechteckige Basis gezeigt. Bei diesem Element in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide existieren vier getrennte Seitenwände des Elements, die in einem Winkel (oder in Winkeln) β bezüglich der Vertikale ausgerichtet sind. Das Element kann hergestellt werden, indem der Elementwafer unter Verwendung eines Sägeblatts mit einem gefasten ("V-förmigen") Schneidprofil gesägt wird, um die Schräge für die Seitenwände zu definieren. Statt dessen kann das Element hergestellt werden, indem ein Abschnitt des Wafers maskiert wird, und indem die erwünschte Geometrie durch Sandstrahlen und durch Steuern der Winkel durch Variieren der Parameter der Sandstrahloperation gebildet wird. Ferner können die Winkel definiert werden, indem vorzugsweise entlang spezifizierter kristallographischer Ebenen geritzt wird, um eine bevorzugte Elementgeometrie zu bilden.

Ein weiteres Verfahren besteht darin, einen Abschnitt des LED-Wafers geeignet zu maskieren, und die Geometrie durch Trocken- oder Naßätzen zu bilden. Das kristallographische Wesen des Substrats kann in diesen Fällen wichtig sein. GaP mit einer (111)-Ausrichtung kann beispielsweise mit den Epitaxialschichten waferverbunden werden, um die obere Fensterschicht zu bilden. Dieses Material kann geätzt oder geschlitzt werden, um gewinkelte Kristallflächen freizulegen, die die gewinkelten Seitenoberflächen für eine verbesserte Lichtextraktion bei einem lichtemittierenden Element schaffen. Wenn es erwünscht ist, kann die Fensterschicht durch Wafer-Bonden unter Aufnahme eines Zwischenmaterials (transparentem ITO, einer sehr dünnen Schicht aus AuGe oder AuZn) wafergebondet werden, um eine wafergebondete Grenzfläche zu ermöglichen, die leitfähig und vernünftig transparent ist. Die kristallographische Ausrichtung des Substrats wird ausgewählt, um eine vernünftige Steuerung über das Chipformen zu bewirken, ohne daß Kompromisse bezüglich anderer Elementverhaltenscharakteristika eingegangen werden. Nach einem anfänglichen "rohen" Formprozeß kann es notwendig sein, "feine" Formprozesse zu verwenden, um an der schließlichen erwünschten Form anzukommen und/oder sehr glatte Seitenwände zu erzeugen, die für ein korrekt funktionierendes Element erwünscht sind. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann das Element eine unterschiedliche Anzahl von geformten Seitenoberflächen haben, z. B. drei Oberflächen für ein Element in Form einer invertierten abgeschnittenen Dreieckspyramide. Ein photoelektrochemisches Ätzen kann ebenfalls verwendet werden, um die Elemente entweder zu formen und/oder zu vereinzeln. Viele Elementgeometrien werden gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung arbeiten, wobei eine ausgewählte Geometrie durch die Anforderungen einer spezifischen Elementanwendung und durch Kosten- und Herstellungs-Überlegungen bestimmt wird.

Eine Draufsicht eines alternativen Ausführungsbeispiels ist in Fig. 6 gezeigt. Der invertierte abgeschnittene Kegel hat eine Basis, die kreisförmig ist (allgemein elliptisch). Dieses Element kann durch eine geeignete Verarbeitung des

Materials durch irgendeines der vorher erwähnten Verfahren geformt oder approximiert werden. Das Strahlungsmuster aus dem konischen Element ist axial symmetrisch und eignet sich vorteilhafterweise zum Fokussieren oder Defokussieren beim Häusen oder bei einer Sekundäroptikanordnung.

Ein Element mit gewinkelten Seitenoberflächen zeigt eine Zunahme im Flächen-Verhältnis der maximalen Erstreckung des Elements (der oberen Fläche des Elements) relativ zu der aktiven Fläche. Für eine gegebene Auswahl einer aktiven Fläche resultiert dies in einer Reduktion der Anzahl von verfügbaren Elementen pro Einheitsfläche auf einem Wafer (bezüglich herkömmlicher Geometrien). Die Wichtigkeit liegt in der Tatsache, daß die epitaxialen Schichten, die die aktive Schicht und den p-n-Übergang aufweisen, typischerweise der stärkste Kostentreiber für den Wafer sind. Diese Flächenenertragsreduktion nimmt zu, wenn die Höhe des oberen Fensters erhöht wird. Dieselbe nimmt ebenfalls zu, wenn der Seitenwandwinkel erhöht wird. Bei einem Wafer, der in Elemente in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide unter Verwendung einer gefasten Säge (in Fig. 7 gezeigt) geschnitten wird, beträgt das Elementergebnis pro Wafer für ein Element in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide mit $\beta = 30^\circ$ etwa 29% bezüglich eines herkömmlichen Elements, wenn die aktive Schicht 50 μm von der Oberseite des Wafers (während des Schneidens), der 250 μm dick ist (Position 1) entfernt ist, und wenn der Schneideindex 500 μm beträgt. Ein Plazieren der aktiven Schicht näher an die untere Seite des Wafers während des Schneidens, z. B. 200 μm von der Waferunterseite (Position 2), erhöht den Elementflächenenertrag auf ungefähr 78%. Wenn der Übergang von der Unterseite des Elements wegbewegt wird, wird somit der Flächenenertragsverlust reduziert (wird die Anzahl von Elementen pro Wafer und somit die Kosteneffektivität dieses Elements erhöht). Natürlich kann der Extraktionswirkungsgrad des Elements ebenfalls reduziert werden, wenn die Höhe des oberen Fensters des Elements effektiv verringert wird. Die Verringerung des Wirkungsgrads durch die Platzierung des Übergangs wird jedoch weniger einschneidend sein, da die Absorption der aktiven Schicht reduziert ist (entweder durch Erhöhen des internen Quantenwirkungsgrads der aktiven Schicht oder durch Verringern der Dicke der aktiven Schicht), da Photonen mehr Durchläufe durch die aktive Schicht überleben können, bevor sie ohne Neuemission absorbiert werden. Beim Reduzieren der Dicke der aktiven Schicht von 1,0 auf 0,1 μm läuft die Zunahme der Transmission pro Durchlauf (vertikal) von 37% bis zu 90%. Kosteneffektive Lösungen müssen die Übergangsplatzierung, den Seitenwandwinkel, die Fensterhöhe (die Fensterhöhen) und den internen Wirkungsgrad der aktiven Fläche zusammen mit Verlustmechanismen, z. B. absorbierenden ohmschen Kontakten, für ein korrektes Elementedesign berücksichtigen. Dies ist ein Aspekt der vorliegenden Erfindung. Es wird bevorzugt, einen breiten Bereich der Steuerung über die Platzierung des Übergangs innerhalb des Elements zu haben. Ein Positionieren der Position des Übergangs erlaubt den Entwurf einer LED mit einer deutlichen Extraktionswirkungsgradverbesserung ($> 1,4 \times$), die an den zusätzlichen Herstellungskosten aufgrund des Verlusts an Ertrag an aktiver Fläche stärker angepaßt ist. Basierend auf den erwarteten Lichtausgabegewinnen ($> 1,4 \times$) wird bevorzugt, einen Flächenenertrag größer als 33% beizubehalten.

Es existieren mehrere Argumente zum Beibehalten eines Flächenenertrags aufgrund des Chipformens, der größer als 33% ist. Zum Beispiel liegen typische Erträge für eine hochvolumige Herstellung von LEDs in ausgereifter Technologie in dem Bereich von etwa 30 bis 50%. Es wird bevorzugt, ei-

nen Flächenenertrag beizubehalten, der zumindest mit den Erträgen von herkömmlichen LEDs ebenbürtig ist, derart, daß das Formen allein keine harte obere Grenze für erreichbare Verbesserungen im Ertrag auferlegt. Zweitens wurden viele geformte LEDs mit Geometrien hergestellt, die Flächenenerträgen größer als 33% entsprechen, und die Extraktionswirkungsgradgewinne größer als $1,4 \times$ gegenüber herkömmlichen Elementen zeigen. Schließlich ist es für bestimmte Systemanwendungen akzeptabel, die Chipkosten zu verdreifachen und dafür einen 40%igen Gewinn im Wirkungsgrad zu haben, besonders wenn die Chipkosten nur einen Bruchteil der Gesamtkosten des Systems ausmachen.

In dem Kompromiß zwischen dem Ertrag und dem Extraktionswirkungsgrad ist eine kosteneffektive Lösung möglich, indem die Elementhöhe, der Seitenwandwinkel und die Übergangspositionsparameter verändert werden. Die Elementhöhe wird durch die Substratdicke, z. B. durch Sägen, Läppen, Polieren oder Ätzen oder durch die Anzahl von Malen des Schichtwachstums, gesteuert. Der Seitenwandwinkel wird durch die Herstellungstechnik bestimmt und kann sehr gut definiert werden, beispielsweise durch gefastetes Sägen, durch photoelektrochemisches Ätzen oder durch kristallographisches Ätzen. Die Übergangsposition wird durch die Anzahl von Malen des Wachstums zu einem bestimmten Grad (epitaxiale Fenster) gesteuert, wobei jedoch der volle Bereich von Übergangspositionen einfacher erreicht werden kann, indem die Dicke der waferverbundenen Schichten variiert wird. Die aktive Schicht kann beispielsweise fast genau in der Mitte eines Elements mit einer Höhe von $203,2 \mu\text{m}$ (8 Millizoll) durch einfaches Wafer-Bonden von Substraten mit einer Höhe von $101,6 \mu\text{m}$ auf jeder Seite positioniert werden.

Eine Folge dieser Elementegeometrie auf den Gesamtflußgewinn (einschließlich des Flächenenertrags) ist in Fig. 8 dargestellt. Hier ist entlang der y-Achse der experimentelle Gesamtflußgewinn (in Lumen) für LEDs in Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide ($\beta = 35^\circ$) geteilt durch das Flächen-Verhältnis der oberen Ausdehnung des Elements bezüglich der aktiven Fläche aufgezeichnet. Dieses Flächen-Verhältnis ist umgekehrt proportional zu der Anzahl von Elementen, die pro Wafer verfügbar sind, und ist somit direkt proportional zu den Herstellungskosten des LED-Chips. Somit ist die y-Achse im wesentlichen das Verhältnis des Gesamtflußgewinns als Funktion der Chipkosten bezüglich herkömmlichen Gegenstückelementen (mit vertikalen Seitenwänden), die alle mit derselben Stromdichte von $107,7 \text{ A/cm}^2$ getrieben werden. Die x-Achse ist das geometrische Aspektverhältnis (Höhe des oberen Fensters geteilt durch die Breite der aktiven Region) der Pyramiden-LEDs. Fig. 8 stellt den allgemeinen Trend des reduzierten Flusses pro Geldeinheit (MU; MU = Monetary Unit) dar, während das Aspektverhältnis des Elements zunimmt. Für eine feste Breite der aktiven Region schlägt der Trend vor, daß ein dünneres oberes Fenster eine günstigere Situation im Hinblick auf den Fluß pro MU schaffen wird. Das obere Fenster muß dick genug sein, um die Extraktionswirkungsgradanforderungen der Anwendung zu erfüllen. Für das herkömmliche Element beträgt das Fluß/Kosten-Verhältnis 1,0 (dieser Wert wurde offensichtlich normiert!). Es existiert jedoch kein Gewinn beim Extraktionswirkungsgrad für das herkömmliche Element. Ebenfalls ist die Chipkostenzunahme übertrieben dargestellt, da ein Kerbschnittverlust, der der Herstellung herkömmlicher LEDs zugeordnet ist, vernachlässigt ist. Da ferner die Chipkosten nur einen Bruchteil der Kosten einer fertigen LED-Lampe darstellen, ist die Fluß-pro-MU-Situation in der Tat viel besser (in Zahlen ausgedrückt) als es in Fig. 8 für die geformten LEDs dargestellt ist. Ein korrekter Elemententwurf muß die geeignete Mitte

zwischen Fluß-pro-MU- und einem minimal erforderlichen Extraktionswirkungsgrad erreichen, die jedoch von Anwendung zu Anwendung variiert.

Fig. 9 stellt eine Verbesserung der vorliegenden Erfindung gegenüber dem Stand der Technik dar. Die x-Achse ist das Flächen-Verhältnis der Ausdehnung der oberen Oberfläche eines Elements relativ zu der aktiven Fläche (proportional zu den Chipkosten). Die y-Achse ist der Extraktionswirkungsgrad geteilt durch das Flächenverhältnis, und dieselbe ist im wesentlichen ein Maß für die Kosten des Lichtausgabewirkungsgrads bei einem Element (Lumen pro Ampere pro MU). Die zwei diamantförmigen Punkte stammen aus dem Stand der Technik und wurden unter Verwendung gemessener externer Quantenwirkungsgrade (in Luft) als die Zahlen für den Extraktionswirkungsgrad dargestellt (d. h. unter der Annahme eines 100%igen internen Quantenwirkungsgrads, was für diese Elemente und Testumgebungen vernünftig ist). Der dritte Datenpunkt (Quadrat- und Fehlerbalken) in Fig. 9 entspricht der vorliegenden Erfindung und stellt eine LED in der Form einer invertierten abgeschnittenen Pyramide dar ($\beta = 35^\circ$, $h_T = 215,9 \mu\text{m}$, AlInGaP-LED bei 636 nm). Da der interne Quantenwirkungsgrad der AlInGaP-LED geringer als 100% ist (wie es in der Technik bekannt ist), wird der Extraktionswirkungsgrad aus experimentellen Lichtausgabegewinnen gegenüber herkömmlichen (rechteckigen, quaderförmigen) AlInGaP-LEDs aus demselben Material abgeschätzt. In diesem Fall hat das Element einen Extraktionswirkungsgrad in dem Bereich von etwa 18 bis 22% und per Entwurf ein Flächen-Verhältnis kleiner 3. Es sei angemerkt, daß dieses Element eine verbesserte Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad und den Kosten bezüglich der bekannten Elemente aufweist. Das von Alferov beschriebene Element würde, obwohl es einen hohen externen Quantenwirkungsgrad zeigt, übermäßige Chipkosten ($> 9 \times$) basierend auf der ausgewählten Geometrie haben. Das Element von Franklin u. a. verwendet eine akzeptable Geometrie im Hinblick auf die Chipkosten, dasselbe weist jedoch einen schlechten externen Quantenwirkungsgrad aufgrund des Mangels an Seitenlichtextraktion und aufgrund der mangelhaften Fenstertransparenz auf. Es ist offensichtlich, daß Elemententwürfe innerhalb der vorliegenden Lehren in einer wesentlichen Verbesserung der Beziehung zwischen dem Wirkungsgrad und den Kosten resultieren und wesentliche Auswirkungen auf die Verwendung von LEDs in vielen Anwendungen haben.

Fig. 10 stellt eine Seitenansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels dar. Die geformten Seitenwände sind mit einem stark reflektierenden Dünnsfilm beschichtet, der metallisch oder dielektrisch oder eine Kombination derselben sein kann, um zu verhindern, daß Licht aus den Seitenoberflächen des Elements austritt, und um Licht zu unterstützen, das durch die obere Oberfläche austritt. Der optische Entwurf für das Packungsschema ist einfacher, da das gesamte Licht aus einer einzigen planaren Oberfläche emittiert wird. Die optische Packung erfordert keine stark reflektierende Befestigungsoberfläche für die LED, da sich kein nach hinten ausbreitendes Licht in der LED befindet, das umgeleitet werden muß. Ferner kann ein Abschnitt der reflektierenden Dünnsfilmbeschichtung einer der ohmschen elektrischen Kontakte zu dem Element sein, um eine Drahtbondbefestigung an einem oberen Kontakt an der oberen Oberfläche des Elements zu beseitigen. Dies reduziert Zuverlässigkeitsprobleme, die dem Drahtbonden zugeordnet sind, entfernt den Drahtbondschritt aus dem Herstellungsprozeß und beseitigt die Verdeckung eines oberen Kontakts gegenüber Licht innerhalb des Elements. Dieses Kontaktierungsschema kann transparentes ITO als ohmschen Kontakt umfassen, welches anschließend mit einer dielektrischen oder mit einer Metall-

schicht bedeckt wird, um eine starke Reflektivität zu schaffen. Alternativ können die geformten Seitenoberflächen mit einer antireflektierenden Beschichtung, typischerweise einem dielektrischen (z. B. SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3) Dünnsfilm oder einem Mehrschichtstapel aus dielektrischen Filmen, beschichtet sein, wie es in der Technik bekannt ist oder in dem Handbook of Optics von Driscoll u. a. (McGraw-Hill, New York, 1978), Abschnitte 8.1 bis 8.124, offenbart ist.

Fig. 11 zeigt ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel, bei dem die elektrischen Kontakte zu beiden Seiten des p-n-Übergangs auf den unteren Befestigungsflächen des Elements gebildet sind. Hier existiert keine Verdeckung eines oberen Kontakts und keine Anforderung nach einer Drahtverbindung zum Bilden eines Stromwegs in dem gehäuteten Element. Die Kontaktgeometrie und das Stromspreizen ist derart, daß eine vernünftig gleichmäßige Injektion in die aktive Schicht erreicht wird. Da kein Leitungsweg durch die obere Fensterschicht erforderlich ist, muß die obere Fensterschicht nicht dotiert sein. Diese Schicht braucht kein Halbleiter sein, sondern kann irgendein transparentes Material sein, das an den epitaxialen Schichten angebracht ist, um eine optische Grenzfläche für eine Lichtextraktion aus der aktiven Region des Elements zu bilden.

Patentansprüche

1. Lichtemittierendes Halbleiterelement mit folgenden Merkmalen:
einer mehrschichtigen Heterostruktur mit einer ersten Seite;
einem p-n-Übergang (11) innerhalb der mehrschichtigen Heterostruktur, der einen aktiven Bereich des Elements definiert;
Metallkontakten (14, 15), die mit dem p-n-Übergang elektrisch verbunden sind; und
einem primären transparenten Fenster (12), das an die erste Seite anstößt, und das eine obere Fläche des Elements und eine durchgehende Seitenoberfläche aufweist, die in einem stumpfen Winkel bezüglich der mehrschichtigen Heterostruktur angeordnet ist.
2. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 1, bei dem die aktive Elementfläche der p-n-Übergangsregion größer als $0,0968 \text{ mm}^2$ (150 Quadratmillizoll) ist.
3. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die Schicht des primären transparenten Fensters (12) eine Dicke zwischen 50 und 250 μm aufweist.
4. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der stumpfe Winkel zwischen 20 und 50° liegt.
5. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die obere Fläche des Elements aus einer Gruppe ausgewählt ist, die ein Quadrat, einen Kreis und ein Dreieck umfaßt.
6. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Verhältnis der oberen Fläche zu der aktiven Fläche des Elements kleiner als 3 ist.
7. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das primäre transparente Fenster (12) ein Substrat ist.
8. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner ein sekundäres transparentes Fenster (13) aufweist, das an eine zweite Seite der mehrschichtigen Heterostruktur anstößt, wobei die zweite Seite parallel zu der ersten Seite ist.

9. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 8, das ferner einen Reflektor aufweist, der an dem sekundären transparenten Fenster angebracht ist, und der eine Winkeldurchschnittsreflektivität größer als 50% aufweist.

10. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 8 oder 9, bei dem das sekundäre transparente Fenster (13) eine Dicke zwischen 50 und 250 μm hat.

11. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner ein stark reflektierendes Metall auf der Seitenoberfläche aufweist, derart, daß die Reflektivität innerhalb des primären transparenten Fensters größer als 80% ist.

12. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner einen oder mehrere elektrische Kontakte (14, 15) aufweist, die auf der Unterseite des primären transparenten Fensters positioniert sind.

13. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner einen Reflektor, der an einer zweiten Seite der Heterostruktur angebracht ist, mit einer Winkeldurchschnittsreflektivität größer als 50% aufweist.

14. Lichtemittierendes Halbleiterelement mit folgenden Merkmalen:

einer mehrschichtigen Heterostruktur mit einer ersten Seite;

einem p-n-Übergang (11) innerhalb der mehrschichtigen Heterostruktur, der eine aktive Fläche des Elements definiert;

Metallkontakten (14, 15), die mit dem p-n-Übergang elektrisch verbunden sind;

einem primären transparenten Fenster (12), das an die erste Seite anstößt, und das eine obere Fläche des Elements und eine durchgehende Seitenoberfläche aufweist, die in einem stumpfen Winkel bezüglich der mehrschichtigen Heterostruktur angeordnet ist; und
einem Flächenenertrag, wobei der Flächenenertrag als das Verhältnis der aktiven Fläche zu der oberen Fläche des Elements definiert ist.

15. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 14, bei dem der Flächenenertrag größer als 33% ist.

16. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 15, bei dem die Dicke des primären Fensters (12) kleiner als 250 μm ist.

17. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß Anspruch 15, bei dem der stumpfe Winkel kleiner als 50° ist.

18. Lichtemittierendes Halbleiterelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der spezifische Kontaktwiderstand zumindest eines Metallkontakts kleiner als $5 \times 10^{-5} \text{ Ohm-cm}^2$ ist.

19. Verfahren zum Herstellen eines lichtemittierenden Halbleiterelements mit folgenden Schritten:

Herstellen einer mehrschichtigen Heterostruktur mit einer p-n-Übergangsregion und mit einer ersten Seite;
Anbringen eines primären transparenten Fensters an die erste Seite;

Herstellen eines elektrischen Kontakts mit dem p-n-Übergang; und

Definieren einer oberen Fläche des Elements durch Formen der Seitenoberflächen des Primärfensters, derart, daß die Seitenoberflächen durchgehend und in einem stumpfen Winkel bezüglich der mehrschichtigen Heterostruktur angeordnet sind.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, bei dem der Schritt des Anbringens eines primären transparenten Fensters

aus einer Gruppe ausgewählt ist, die die Schritte des Wafer-Bondens und des epitaxialen Wachstums umfaßt.

21. Verfahren gemäß Anspruch 19 oder 20, das ferner den Schritt des Anbringens eines sekundären transparenten Fensters an einer zweiten Seite der mehrschichtigen Heterostruktur umfaßt, wobei die zweite Seite parallel zu der ersten Seite ist. 5

22. Verfahren gemäß Anspruch 21, bei dem der Schritt des Anbringens eines sekundären transparenten Fensters aus einer Gruppe ausgewählt ist, die die Schritte des Wafer-Bondens und des epitaxialen Aufwachsens umfaßt. 10

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

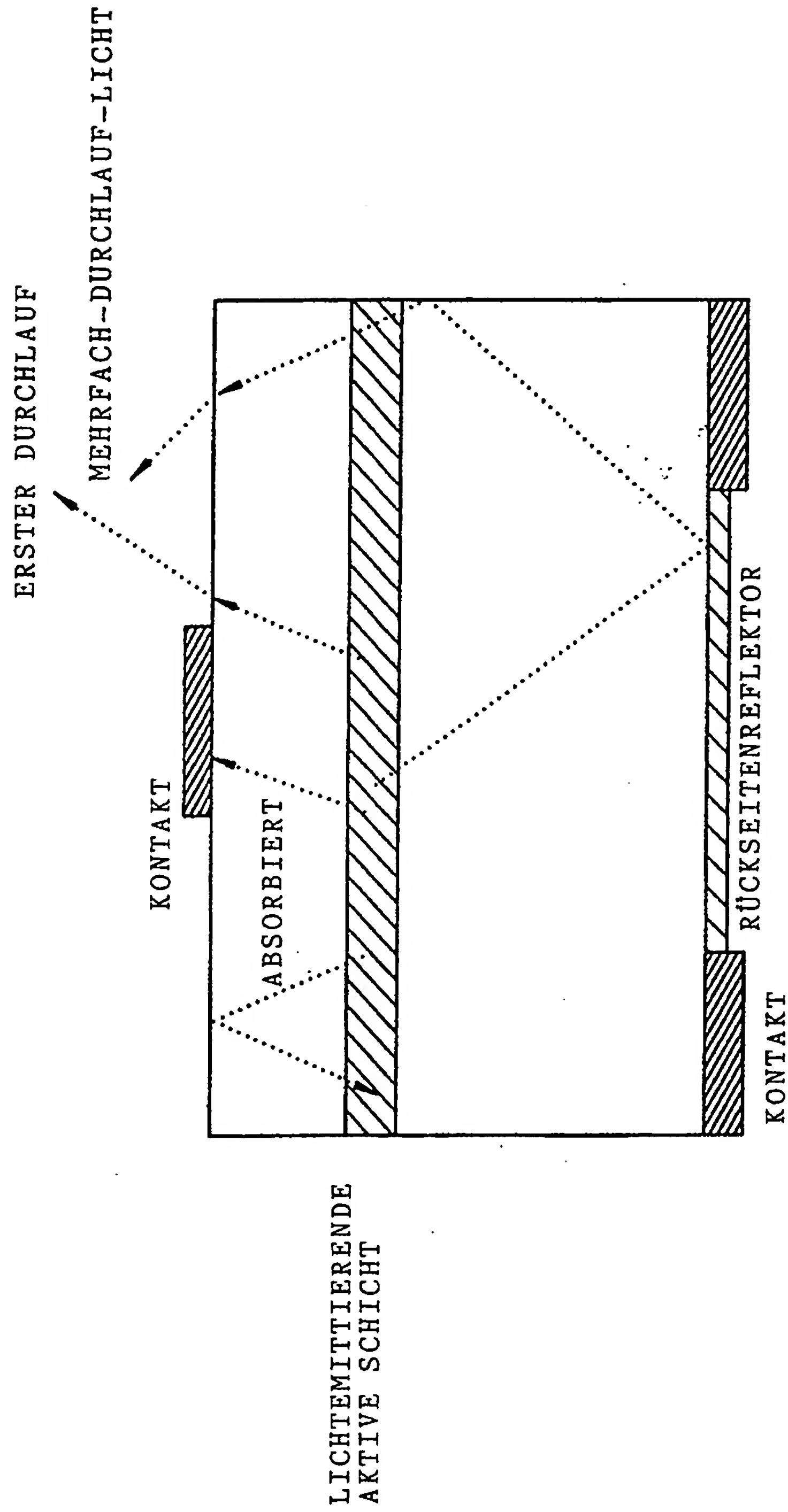
50

55

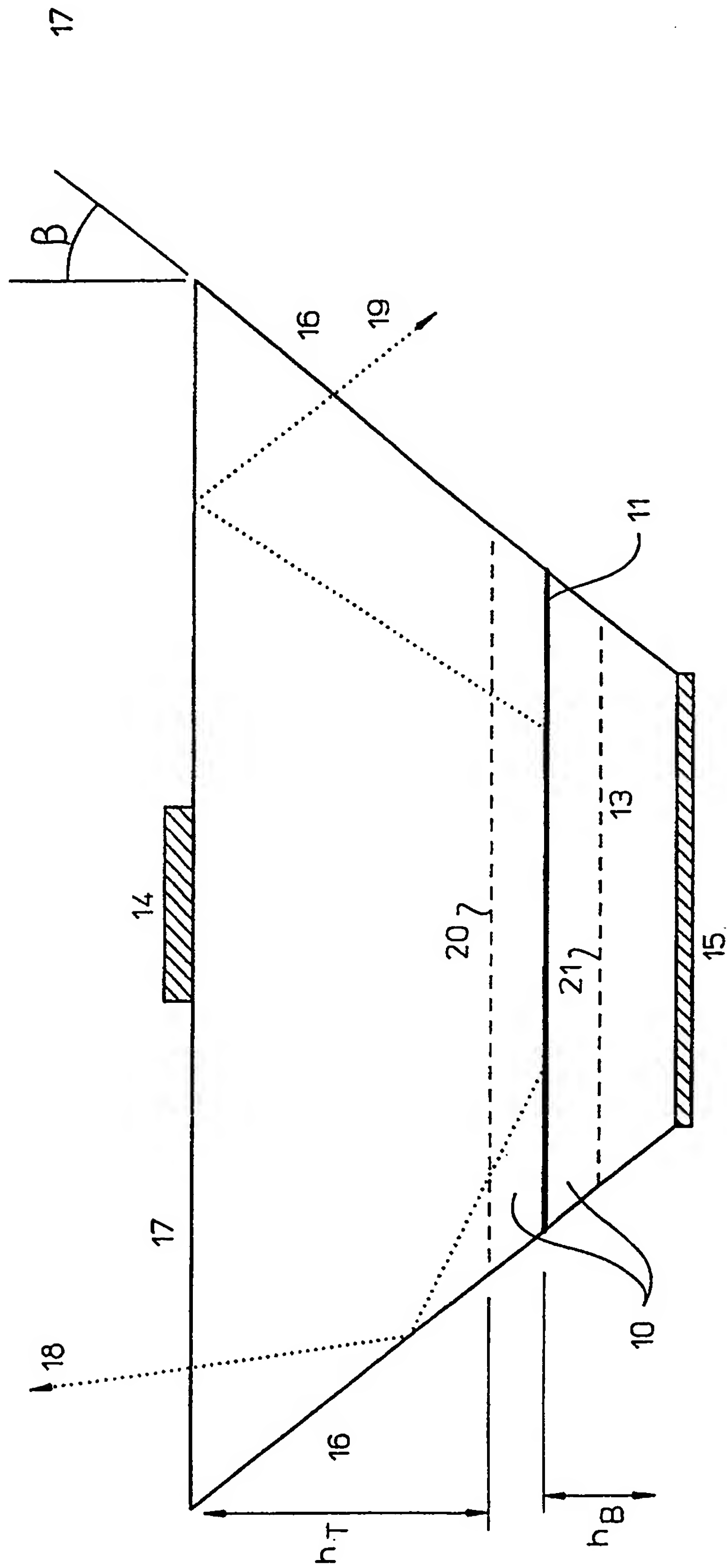
60

65

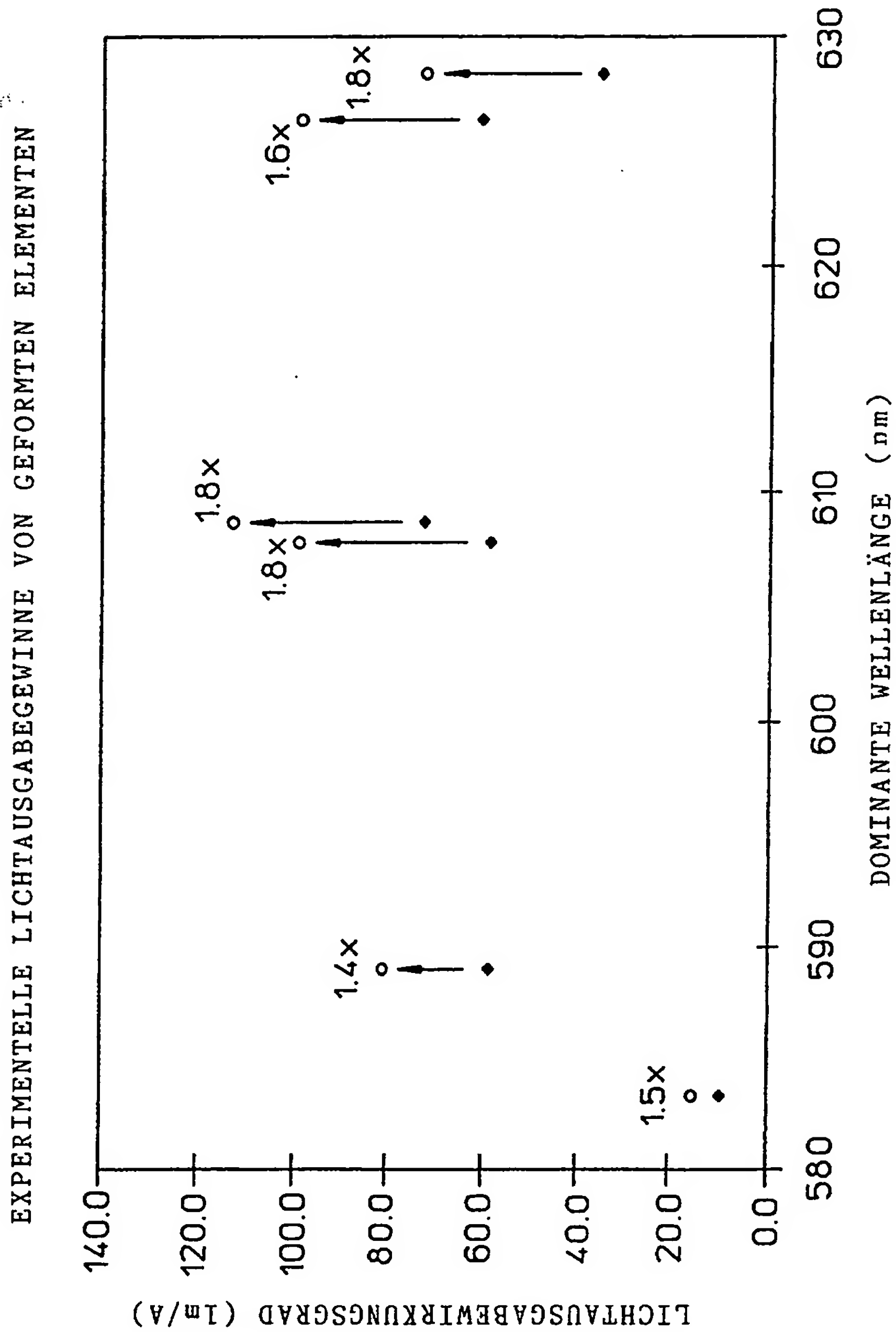
- Leerseite -



Figur 1 (STAND DER TECHNIK)

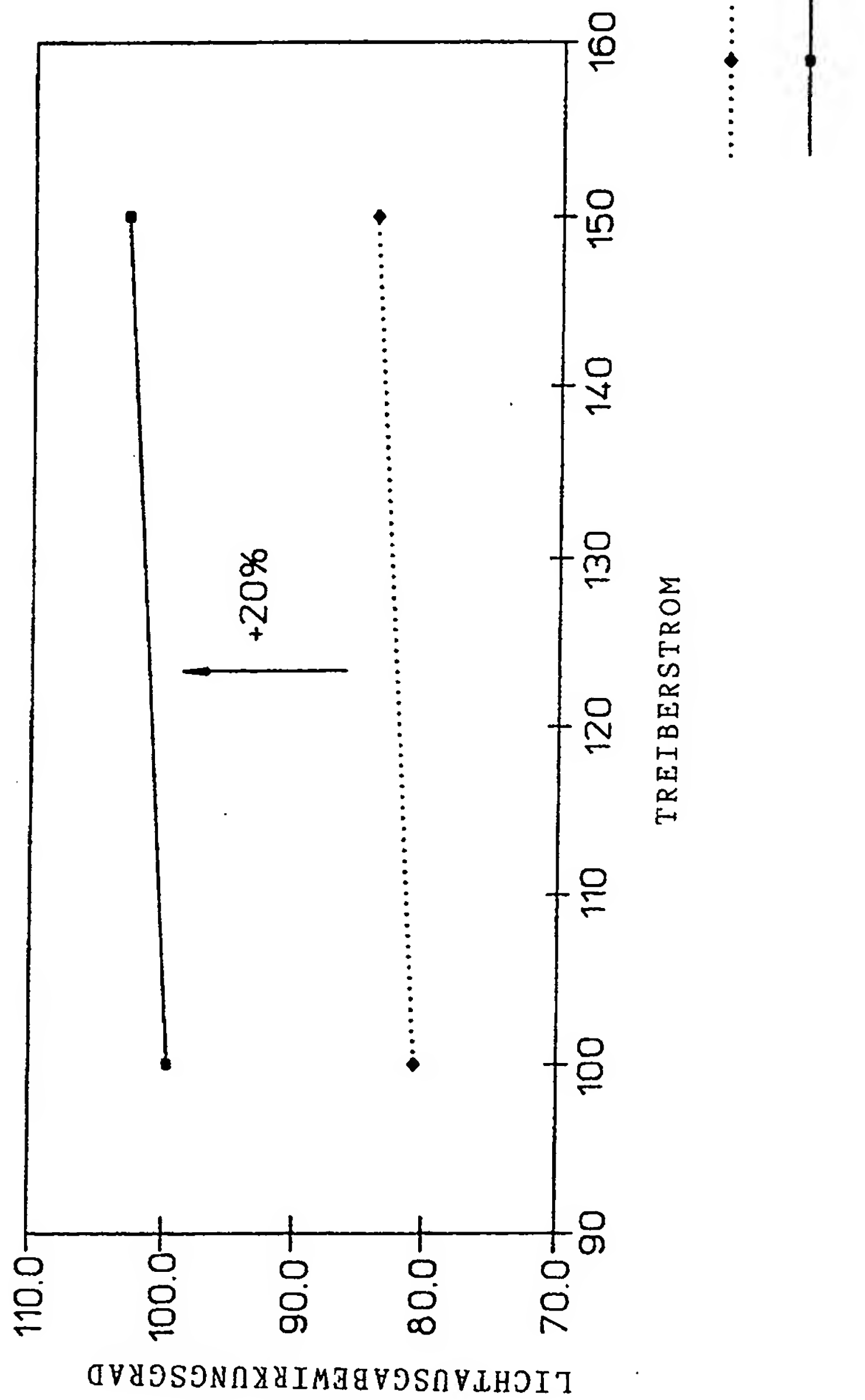


Figur 2

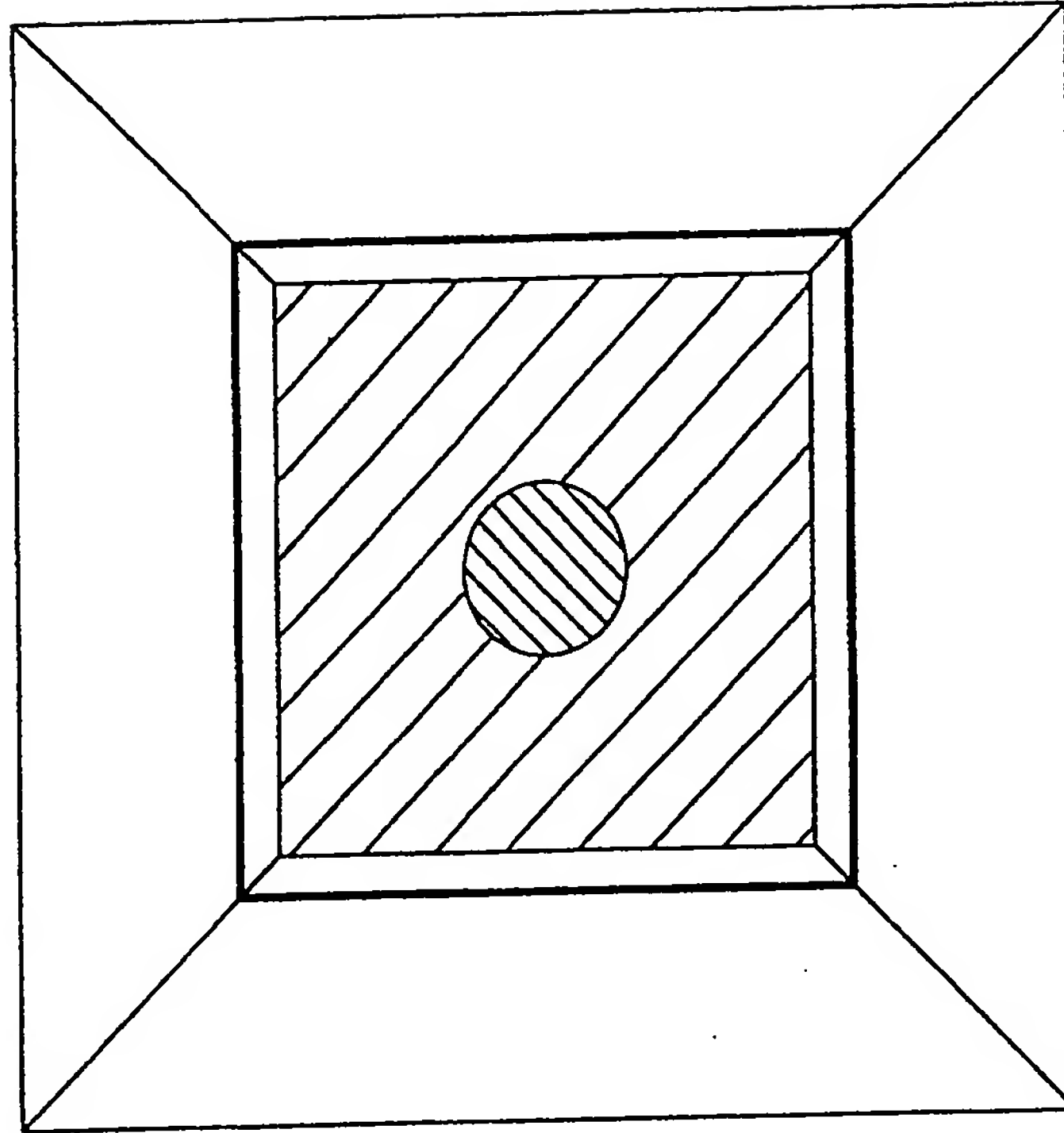


Figur 3

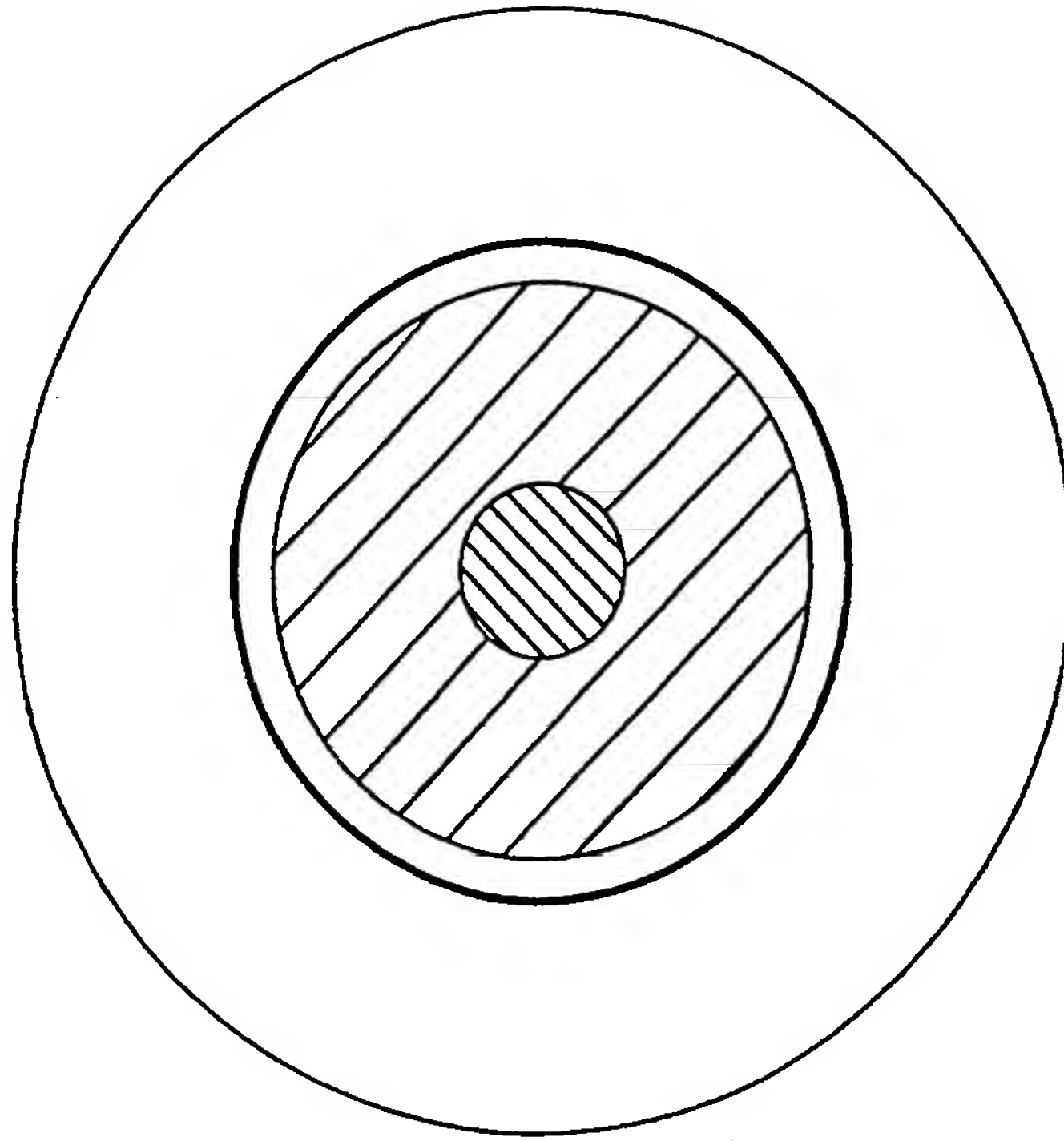
LEDs IN FORM ABGESCHNITTENER PYRAMIDEN: AUSWIRKUNG DER RÜCKKONTAKT-
REFLEKTIVITÄT AUF DIE LICHTAUSGABE



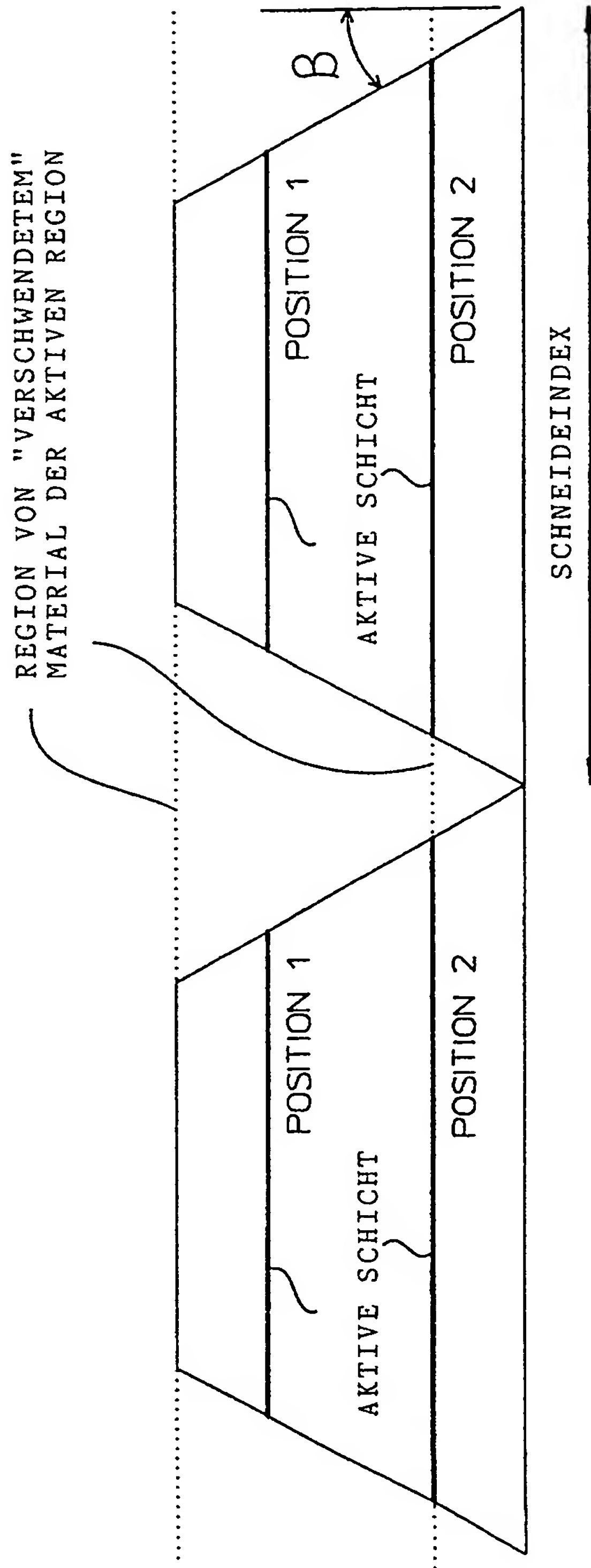
Figur 4



Figur 5

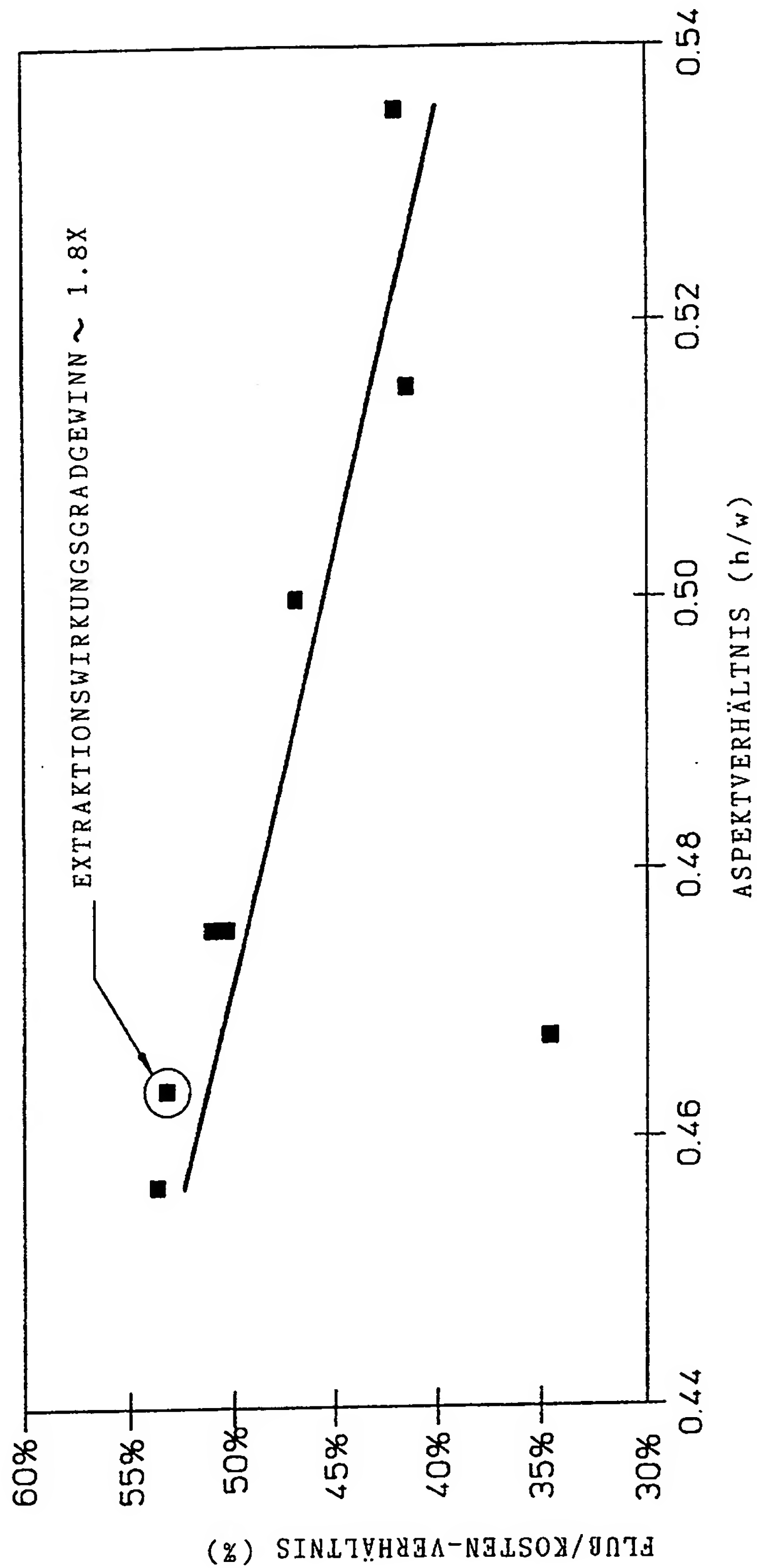


Figur 6



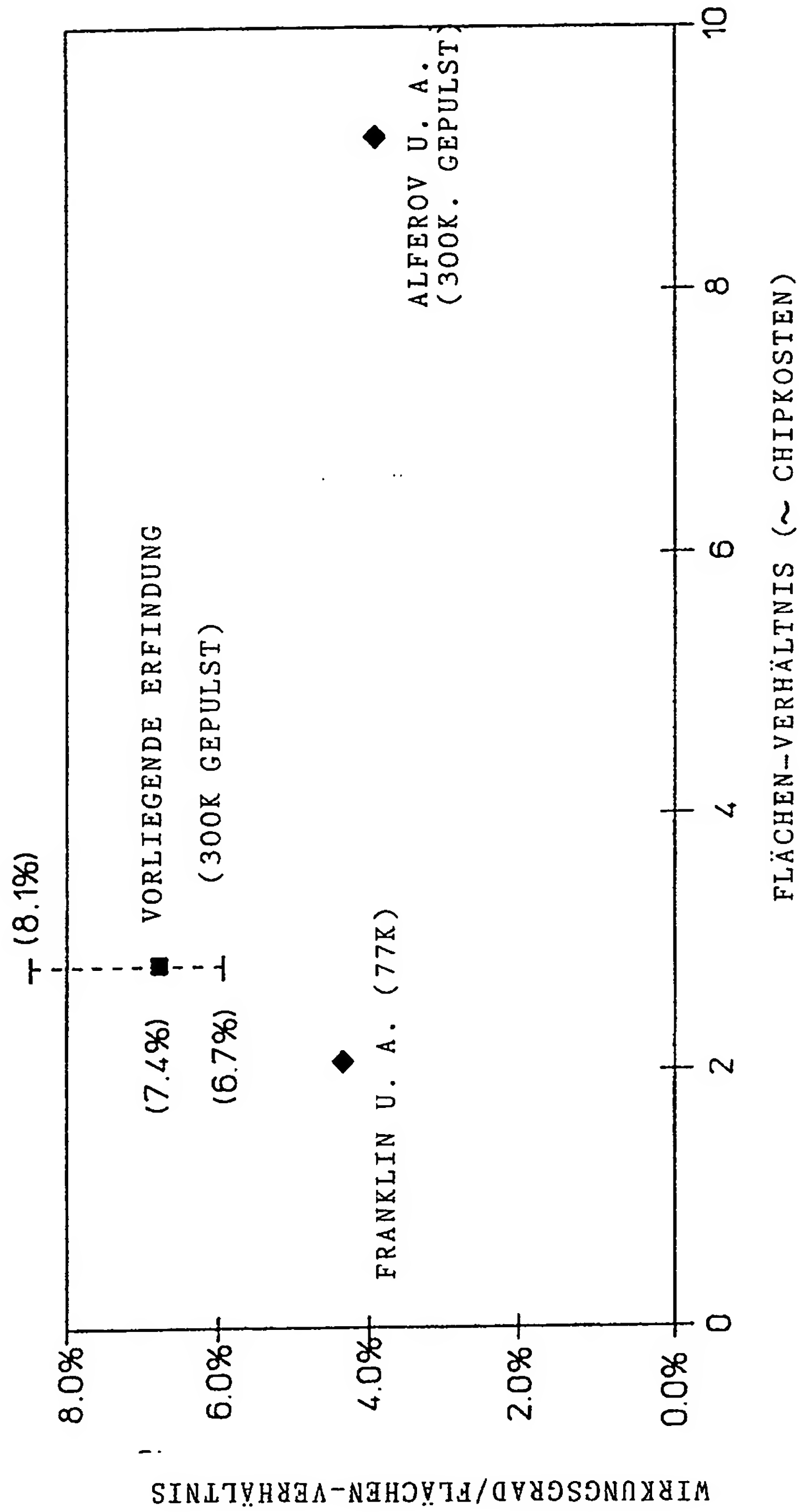
Figur 7

ABGESCHNITTENE PYRAMIDEN: FLUß/CHIP-KOSTEN ALS FUNKTION DES
ASPEKTVERHÄLTNISSES DES ELEMENTS

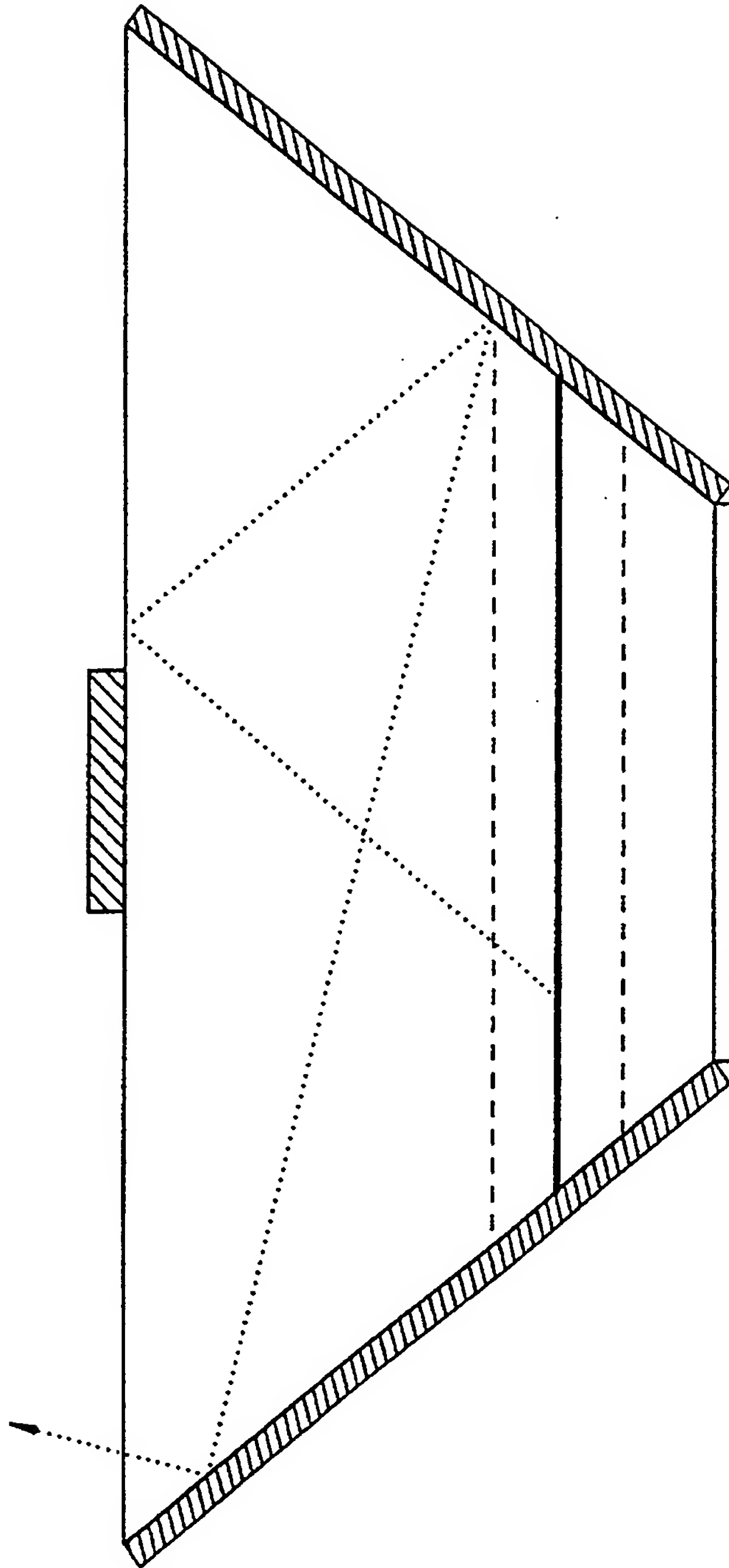


Figur 8

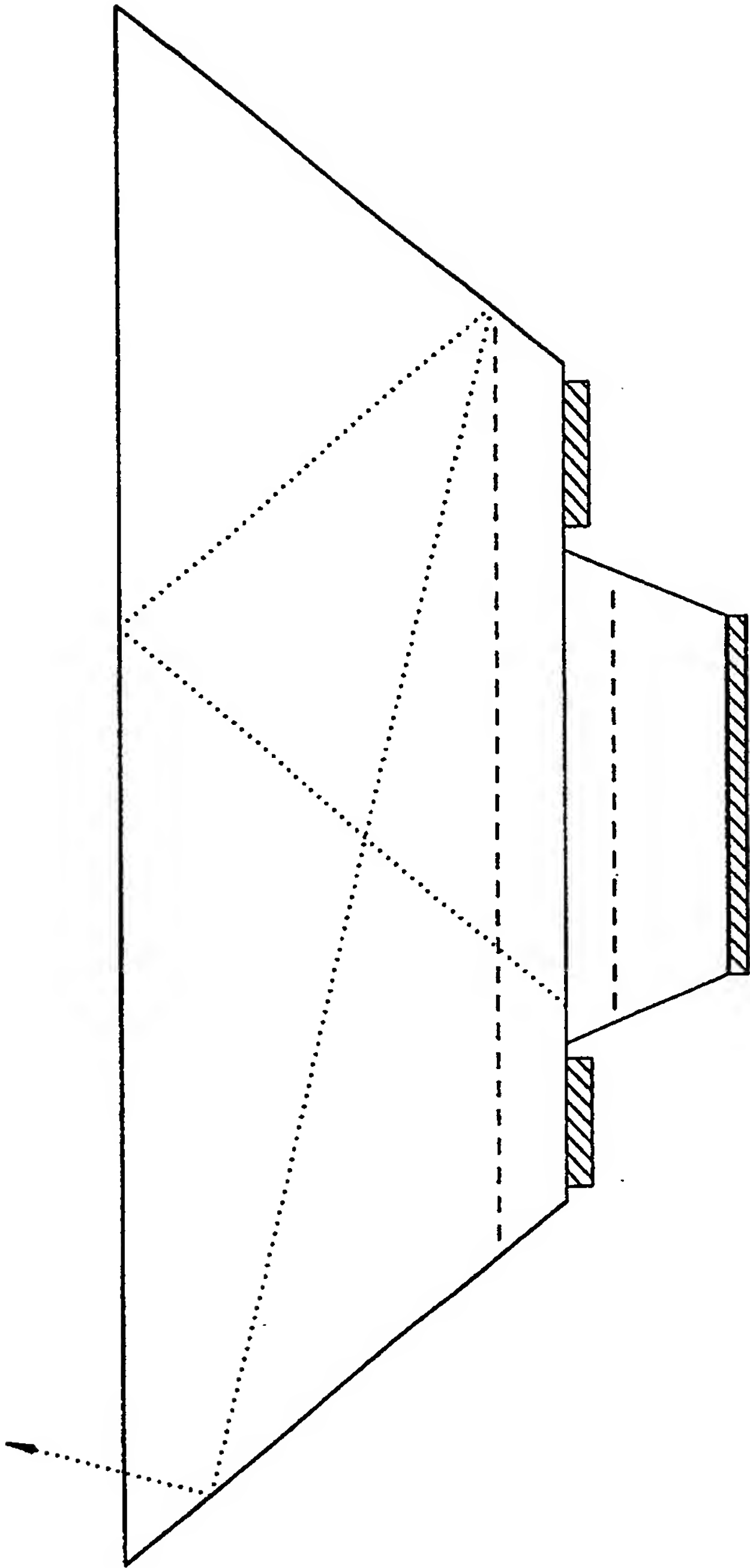
EXPERIMENTELLE DATEN: EXTRAKTIONSWIRKUNGSGRAD ALS FUNKTION
DER CHIPKOSTEN



Figur 9



Figur 10



Figur 11